

ESTADO DE LA TÉCNICA RELACIONADO CON ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE BASTIDORES DE TRENES

LUIS FERNANDO ESPINOSA

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN

2013

ESTADO DE LA TÉCNICA RELACIONADO CON ELEMENTOS
ESTRUCTURALES DE BASTIDORES DE TRENES

LUIS FERNANDO ESPINOSA

Asesor

Germán René Betancur

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE INGENIERÍAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

MEDELLÍN

2013

CONTENIDO

	Pág.
1 INTRODUCCIÓN	8
2 OBJETIVOS	9
2.1 Objetivo General	9
2.2 Objetivos Específicos.....	9
3 JUSTIFICACIÓN	10
4 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	11
5 NORMATIVA INTERNACIONAL PARA BASTIDORES	14
5.1 Norma EN 15085 Soldeo de componentes ferroviarios	14
5.2 Norma une-en 13103:2010+a1 aplicaciones ferroviarias ejes montados y bogies ejes portadores método de diseño	15
6 REGISTRO PATENTES RELACIONADAS CON EL OBJETO DE ESTUDIO.....	17
6.1 Bastidor del bogie de material rodante con construcción compuesta de viga hueca	17
6.2 Bogie elevador para vehículos de transporte de carga	17
6.3 Chasis de bogie articulado y bogie articulado incorporando tal chasis	18
6.4 Bastidor del bogie construido con aleación de aluminio	18
6.5 Bogie para vehículo ferroviario	18
6.6 Bastidor del bogie para vehículos ferroviarios.....	19

7	REGISTRO PUBLICACIONES TÉCNICAS RELACIONADAS CON EL OBJETO DE ESTUDIO.....	20
7.1	Evaluación de durabilidad de un bastidor del bogie compuesto con vigas laterales en forma de arco.....	20
7.2	Modelado y simulación de vibraciones en el bastidor del bogie.....	20
7.3	Diseño de un bogie ferroviario en conformidad con el estándar europeo EN13749.....	21
7.4	Análisis de las metodologías para el cálculo de la fatiga de bastidores de bogie ferroviario.....	21
7.5	Problema de agrietamiento en las vigas transversales donde se unen los bogies del metro de Medellín resuelto utilizando análisis de fatiga.	22
8	REGISTRO DE CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES USADOS EN EL OBJETO DE ESTUDIO	23
9	REGISTRO DE PROCESOS DE MANUFACTURA RELACIONADOS CON EL OBJETO DE ESTUDIO	29
9.1	Maquinabilidad de aleaciones de aluminio.....	29
9.2	Herramientas mecanizado	30
9.3	Tipo de maquinaria para el mecanizado	32
9.4	Parámetros recomendados para los procesos de mecanizado	32
9.5	Herramientas torneado aluminio	32
9.6	Parámetros para el torneado	33
9.7	Comportamiento de las aleaciones de aluminio para forja	34
9.8	Factores influyentes en la realización de las uniones soldadas.	35
9.8.1	Temperatura de fusión del aluminio	35

9.8.2 Conductividad térmica	35
9.8.3 Dilatación térmica	36
9.8.4 Óxido de aluminio	36
9.8.5 PROCESOS DE SOLDEO	37
9.9 RECOMENDACIONES PARA LA REALIZACIÓN DEL SOLDEO	37
9.9.1 Geometría de la unión	37
9.9.2 Precalentamiento	38
9.9.3 Punteado	39

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tipos de estructuras de bastidores de bogies.	12
Figura 2. Construcción underframe	24
Figura 3. Construcción underframe	24
Figura 4. Tren MOHA63	25
Figura 5. Fuerza de corte	30
Figura 6. Materiales de corte para el aluminio	31
Figura 7. Plaquitas H10 CD10	33
Figura 8. Comparación de la conductividad térmica del acero y del aluminio.	35
Figura 9. Geometría de la unión para casos especiales	38

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cuadro comparativo entre los tipos de estructuras.	13
Tabla 2. Niveles de certificación.	14
Tabla 3. Normas asociadas a los diferentes subsistemas de los vehículos.	16
Tabla 4. Características técnicas 7075 (Al, Zn, Mg, Cu, 1,5)	27
Tabla 5. Propiedades físicas aleación 7075	27
Tabla 6. Propiedades tecnológicas aleación 7075	28
Tabla 7. Propiedades mecánicas a temperatura ambiente aleación 7075	28
Tabla 8. Propiedades y recomendaciones herramienta	31
Tabla 9. Parámetros para el torneado	33
Tabla 10. Soldabilidad de las aleaciones de aluminio según el proceso de soldeo	34
Tabla 11. Temperaturas de precalentamiento para uniones en tuberías y chapa a tope de aleaciones de aluminio.	39

1 INTRODUCCIÓN

El vehículo ferroviario está compuesto por un número de vagones y de una locomotora la cual genera la energía necesaria para mover todo el conjunto. Para lograr este objetivo, el vehículo dispone de un tren de rodaje el cual se desplaza sobre unos rieles paralelos.

Con el paso de los años y los avances tecnológicos, el tipo de energía utilizada ha variado, y con esto modificando la eficiencia en el desplazamiento de una manera más rápida y cómoda. (aula2.elmundo)

El sistema ferroviario se puede observar en gran parte de los países desarrollados, actuando como columna fundamental de la infraestructura de cada país. Se debe ser consiente del potencial que los sistemas ferroviarios representan para el desarrollo de un país, este sistema no se puede limitarlo únicamente al sector transporte, sino como sistema principal de la infraestructura nacional, que afecta directamente la economía y el desarrollo del país, redundando en bienestar social y desarrollo sustentable.(catarina.udlap)

El sistema ferroviario es uno de los elementos más importantes para el futuro de la movilidad. En unos tiempos en los que se priorizan los sistemas sostenibles, el sistema ferroviario despliega ventajas, tanto para el medioambiente como para el ámbito económico. Se ha entendido que un sistema de transporte que gira en torno al gasto energético de combustibles contaminantes no es sostenible. (Sistemas Ferroviarios y Tracción Eléctrica, 2010)

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar el estado de la técnica en cuanto a los elementos estructurales de bastidores de trenes.

2.2 Objetivos Específicos

- Registrar la normativa internacional relacionada con el objeto de estudio.
- Registrar patentes relacionadas con el objeto de estudio.
- Registrar publicaciones técnicas especializadas relacionadas con el objeto de estudio.
- Registrar la caracterización de los materiales usados en el objeto de estudio.
- Registrar los procesos de manufactura relacionadas con el objeto de estudio.

3 JUSTIFICACIÓN

Al momento de hacer referencia a chasis o bastidor, este es asociado como el armazón o esqueleto de un sistema. No es posible imaginar una máquina sin un soporte o esqueleto, el cual la provee de movilidad y perdurabilidad. Por estas razones podemos entender a los bastidores como un elemento de suma importancia en una máquina ya que sin este, su funcionalidad no existiría. Es en todos los casos el elemento que soportará todos los componentes de la máquina y debe ser capaz de sostenerlos y hacer que perduren.(coches20)

4 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

Un bastidor de bogie para ferrocarril, hace referencia a una estructura metálica básica del bogie formada por elementos longitudinales conectados entre sí por medio de elementos transversales así servir de base o chasis sobre el cual irán sujetos el resto de componentes. (Méndez, 2011)

Los bastidores o marcos se utilizan principalmente en vagones, automóviles, y unidades tractivas. Al momento de diseñar se debe tener en cuenta que estos generen un menor esfuerzo entre la rueda y el riel, también que contribuyan a un menor desgaste en las ruedas y los rieles, creando así baja resistencia en las curvas y gran resistencia al descarrilamiento.

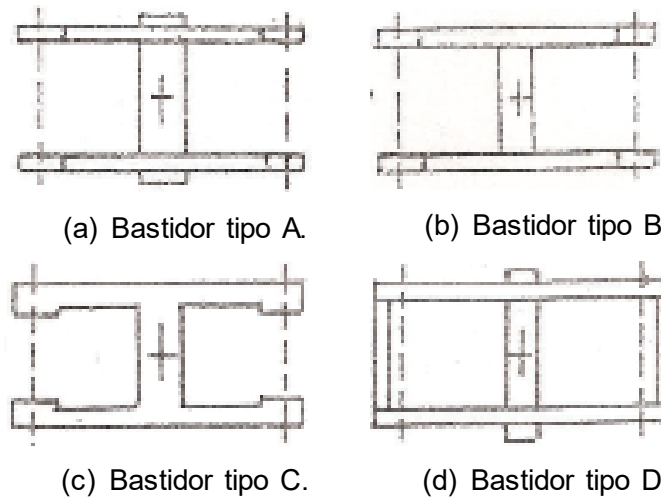
Para los cálculos del diseño se debe tener en cuenta las cargas estáticas, dinámicas, longitudinales, transversales (viento y fuerza centrífuga), cargas de interacción entre rueda y riel (en curvas) y cargas de inercia.

Se puede encontrar distintos tipos de diseño de bogie tales como:

- Tipo A: bogie común de vagón, sin cabezal, compuesto por dos ramas laterales elásticamente ligadas a una viga puente transversal.
- Tipo B: formado por largueros de acero fundidos con sus cajas de engrase y ligadas por una vigueta que le permite movimientos holgados.
- Tipo C: bogie monoblock fundido rígidamente.
- Tipo O: bogie con cabezales.

Los tipos de estructura se pueden observar en la siguiente figura. De acuerdo al diseño, estos tienen distintas aplicaciones, ventajas y desventajas, en cuanto a su adaptación al servicio, prevalecen los tipos B y C pero considerando otros factores sobre la vía se impone el tipo C.

Figura 1. Tipos de estructuras de bastidores de bogies.



Los de tipo A presentan muy buena elasticidad y acomodación en vías, pero no aseguran una distancia constante entre ejes. El tipo B mantiene siempre el paralelismo entre sus largueros, pero debido a la soldura de la viga central el desplazamiento longitudinal relativo de ambos largueros puede hacerse máximo.

En el tipo C o monoblock el paralelismo de los ejes está garantizado. Permite también una elasticidad de movimiento de los largueros en planos verticales. El cruzamiento de los ejes resulta imposible, el desplazamiento relativo de los largueros es nulo y la seguridad contra el descarrilamiento es mayor.

Existen otros tipos de bastidor tales como:

- Bastidor no suspendido: los largueros son independientes o bien reunidos por un travesaño inferior, estos son de barras triangulares, de acero moldeados o soldados, con suspensión a muelles en hélice que transmiten la carga a la viga oscilante.
- Bastidor suspendido: este tipo de bastidor está formado por dos largueros y un travesaño central, remachados o soldados de modo que forman una unidad, contruidos con perfiles “doble T” o vigas cajón.

A continuación en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra un cuadro comparativo para los diferentes tipos de estructuras.

Tabla 1. Cuadro comparativo entre los tipos de estructuras.

	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo O
Considerado como solución elástica en circulación				
Oscilación	Mediana	Máxima	Mínima	Mediana
Paralelismo	No asegurado	Absoluto	Absoluto	Discreta
Desfasaje	Posibles sinusoides	Imposible	Reducidas	Culebreo errores perjudiciales
Movimiento vertical	Amplio	Amplio	Amplio	Restringido
Resultados obtenidos en la práctica normal				
Montaje	Medio	Sencillo	Sin montaje	Completo
Circulación	Buena	Buena	Optima	Aceptable
Reparaciones en accidentes	Por piezas	Cambio de repuestos	Costosa	Cambio de piezas y enderezamiento
Efectos que cada tipo produce sobre las vías				
Cruzamiento	Perjudicial	Inocuo	Imposible	Perjudicial
Diferencia rodado	Perjudicial	Perjudicial	Perjudicial	Perjudicial
Decalaje	Perjudicial	Inocuo	Perjudicial	Perjudicial
Sinusoide	No daña	Perjudicial	Inocuo	Perjudicial

(virgeliz)

5 NORMATIVA INTERNACIONAL PARA BASTIDORES

Cuando nos referimos a normatividad se hace referencia a un conjunto de reglas o leyes que hacen parte de una organización. Estas normas o reglas son útiles ya que generan orden para cada uno de los procedimientos. (mipymes, 2011)

5.1 Norma EN 15085 Soldeo de componentes ferroviarios

La norma EN 15085 (las antiguas DIN 6700) se encargan de definir los requisitos de certificación y de calidad para el fabricante de soldeo que realiza nuevas construcciones o trabajos de reparación (mantenimiento) de aceros y aluminios en vehículos ferroviarios y sus componentes. Además, dichas normas enlazan los requisitos de calidad definidos durante el diseño y permite realizar soldaduras de calidad apropiada demostrando la calidad exigida mediante inspección.

Este enlace se consigue definiendo una clase de ejecución de la soldadura (CP) durante el diseño, basada en factores de seguridad y resistencia. Los niveles de calidad de las imperfecciones están asignados a clases de ejecución de la soldadura para las cuales se especifican los niveles de certificación (CL) para la producción, la inspección y ensayo y la cualificación del personal de soldeo.

Los distintos certificados EN 15085 se clasifican en función de los niveles de certificación (CL) asignados según la clase de ejecución (CP) y los factores de seguridad de la soldadura. De este modo, se definen los cuatro niveles de certificación siguientes:

Tabla 2. Niveles de certificación.

Nivel de certificación	Descripción
CL 1	<p>Fabricantes de soldeo que construyen vehículos ferroviarios soldados y sus componentes soldados, con uniones soldadas clasificadas según las clases de ejecución de la soldadura CP A a CP D.</p> <ul style="list-style-type: none">• Bogie, bajo bastidor, caja del vehículo, órganos de choque y tracción, estructuras de apoyo para equipos externos, apoyos de los ejes montados, cajas de grasa,

Nivel de certificación	Descripción
	<p>apoyos de muelle, amortiguadores de choque, amortiguadores de vibraciones, equipos de freno, bastidor de apoyo para vehículos de utilización intensa incluyendo vehículos vía/carretera, componentes soldados de transmisión del esfuerzo de tracción del bogie al vehículo, tanques de combustible de los vehículos, acabado de las soldaduras de piezas moldeadas incluidas en los componentes indicados anteriormente, tanques de gas a presión, tanques y cisternas de vehículos ferroviarios con ensayos a presión, contenedores para materias peligrosas.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requisitos de calidad EN ISO 3834-2. • Coordinador de soldeo Nivel A (IWE o IWT + otros requisitos).
CL 2	<p>Fabricantes de soldeo que fabrican componentes soldados de los vehículos ferroviarios con uniones soldadas clasificadas según las clases de ejecución de la soldadura CP C2 a CP D.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cisternas para materias no peligrosas, otras cisternas de transporte, partes internas de coches de viajeros, bastidores de apoyo para equipos internos, equipos de la cabina de conducción, partes del lavabo y contenedores de agua con órganos de alimentación, puertas correderas en vehículos incluyendo carriles de guiado, fijación para las tuberías de freno, cofres de equipos no auto soportados bajo bastidor, cajas de cambios y consolas para manejo del freno de mano, escalones, barandillas y barandillas exteriores a los vehículos. • Requisitos de calidad EN ISO 3834-3. • Coordinador de soldeo Nivel B o C (IWT o IWS + otros requisitos)
CL 3	<p>Fabricantes de soldeo que fabrican componentes soldados de vehículos ferroviarios con uniones soldadas con clase de ejecución de la soldadura CP D.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manivelas y palancas para diversas operaciones, chapas de puertas, cajas de los equipos y armarios de control en los vehículos ferroviarios, apoyos para placas indicadoras, areneros, cubiertas para vagones de mercancías, escalones, barandillas, pasamanos de los vehículos ferroviarios, bastidores de asientos, bastidores de ventanas, rejillas de ventilación. • Requisitos de calidad EN ISO 3834-4
CL 4	<p>Fabricantes que no sueldan pero diseñan vehículos ferroviarios y componentes de vehículos ferroviarios o los compran y montan o los venden.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requisitos de calidad EN ISO 3834-3

(itcsoldadura, 2008)

5.2 Norma une-en 13103:2010+a1 aplicaciones ferroviarias ejes montados y bogies ejes portadores método de diseño

Esta norma define las fuerzas y momentos a tener en cuenta en función de las masas y condiciones de tracción y frenado también proporciona el método de cálculo de esfuerzos para ejes con manguetas exteriores. Especifica los esfuerzos

máximos admisibles, que deben tomarse en consideración en los cálculos, para una calidad de acero EA1N, definido en la Norma EN 13261.

Describe el método para la determinación de los esfuerzos máximos admisibles para otras calidades de acero. Determina los diámetros de las distintas secciones del eje y recomienda las formas y transiciones más adecuadas para proporcionar un buen comportamiento en servicio. Esta norma es aplicable a: ejes macizos y huecos de material rodante ferroviario para trasladar viajeros y carga; ejes definidos en la Norma EN 13261; todos los anchos de vía. También se puede encontrar para la geometría del bogie la norma NF F 32.101.

Tabla 3. Normas asociadas a los diferentes subsistemas de los vehículos.

Subsistema del vehículo	Norma	Código
Bogie. Bastidor de bogie.	Geometría	NF F 32.101
Bogie.Rodamiento. Contacto rueda - riel.	Perfil de rueda	UIC 615-0
		UIC 615-1
	Rueda	UIC 615-4
Bogie.Rodamiento.	Ejes	UIC 510-5
		NF EN 13262
		NF EN 13103-10104 (cálculo)
Bogie. Rodamiento. Reductores. Cajas de ejes.	Cajas de grasa	NF EN 13261 (calidad)
		NF EN 13260 (calado)
		NF EN 12080
	Rodamientos	EN 12082
Bogie. Suspensión.	Comodidad dinámica	NF EN 12081
		NF EN 12080 (calificación)
		EN 12082 (pruebas)
Pruebas. Pruebas antes de la entrega de vehículos. Pruebas de subconjuntos. Consistencia.	Resistencia estructura chasis bogie motriz.	NF EN 12081
		UIC 513 y 519
		UIC 515-4

6 REGISTRO PATENTES RELACIONADAS CON EL OBJETO DE ESTUDIO

6.1 Bastidor del bogie de material rodante con construcción compuesta de viga hueca

(Bogie frame of rolling stock having composite hollow beam construction, inventor: Kazuhiro Oda, Musashi-Murayama, Ttsujiro Fukui, Yukio Minowa, int. CL B61F 5/52. USA, patente de investigación US5303657, 19 abril 1994.)

La presente invención se refiere al bastidor del bogie, de un vehículo de levitación magnética o un vehículo ferroviario, para desplazamiento sobre rieles. Tradicionalmente los bastidores se han fabricado principalmente con materiales de acero, El peso de las vigas del bastidor del bogie representan una gran proporción del peso total del bogie. Como un esfuerzo por minimizar el peso, se han establecido distintas posibilidades y materiales para mejorar el diseño del bastidor, Entre tales propuestas se utilizaran aleaciones de aluminio y materiales reforzados con fibras de plástico para las armaduras de los bogies.

6.2 Bogie elevador para vehículos de transporte de carga

(Bogie elevador para vehículos de transporte de carga, inventor: Varajarv, Martti, int. CL B60G9/00.España, Patente de invenciónES-2013459_A6, 01 mayo 1990)

Bogie elevador para vehículos de transporte de carga, que comprende un árbol, dos brazos basculantes dispuestos con susceptibilidad de rotación en dicho árbol, estando prevista la fijación a los primeros extremos de los brazos basculantes de conjuntos de suspensión de las ruedas adyacentes y las ruedas a elevar/bajar a los segundos extremos de los brazos basculantes, y un cilindro mecánico que está sujeto en un primer extremo a un soporte y en su otro extremo a un brazo oscilante, destinado a actuar sobre los brazos basculantes para elevar/bajar las ruedas. Para conectar el bogie elevador a vehículos con independencia de las variaciones de anchura de los chasis y de sus tolerancias de fabricación, el soporte del cilindro mecánico está dispuesto en el árbol de bogie, y este está

sujeto amoviblemente a dos cartelas de montaje a disponer en largueros del chasis.

6.3 Chasis de bogie articulado y bogie articulado incorporando tal chasis

(Chasis de bogie articulado y bogie articulado incorporando tal chasis, inventor: Rodet, Alain y Brun, Stephane, España, CLB61F 5/52, Patente europea ES-2182008_T3, 08 abril 1998)

La presente invención se refiere, en general, a los bogies, y de modo más particular, a un bogie que comprende un bastidor de bogie articulado. Los bogies que utilizan un bastidor articulado tienen la ventaja de un mejor apoyo en el suelo de las cuatro ruedas del bogie, en particular durante el paso por un tramo de vía alabeado, transición alineamiento - curva en peralte, o durante el paso sobre un defecto de la vía.

6.4 Bastidor del bogie construido con aleación de aluminio

(Bastidor del bogie construido con aleación de aluminio, inventor: Michel Rimbaud, FredericLiodenot, Int CL B61f 3/00, USA, Patente US5653177, 5 Agosto 1997)

Se propone una estructura de bogie que hace uso de materiales que no han sido aún utilizados en la estructura de armaduras de los bogies y va en contra de los prejuicios del experto en la técnica. Otro mérito de la solicitante es proponer un marco que permite que la fabricación del bogie se simplifique. Otro mérito de la solicitante consiste en proponer una estructura de bogie formado por elementos hechos de aleación de aluminio fundido o forjado. Por lo tanto, un objeto de la invención es proporcionar un bastidor de bogie permitiendo reducir el peso y el número de piezas de este.

6.5 Bogie para vehículo ferroviario

(Bogie para vehículo ferroviario, inventor: Vanolo, Prieto Torino, CL 61F 5/12, Europa, Patente EP0818375 A2, 14 Enero 1998)

La presente invención está relacionada con bogies de vehículos ferroviarios, del tipo que comprende un bastidor, dos ejes que están conectados al bastidor a través de respectivas cajas, un travesaño de soporte de carga situada encima de la zona centro del marco y destinada a ser fijada al cuerpo del vehículo ferroviario, suspensión interpuestos entre el área central del bastidor y el travesaño de soporte de carga, amortiguador vertical y amortiguador lateral asociados operativamente a dichos medios, y el mecanismo de huntin que absorbe dispuestos sustancialmente de forma longitudinal en los lados opuestos del bogie.

6.6 Bastidor del bogie para vehículos ferroviarios

(Bastidor del bogie para vehículos ferroviarios, inventor: Shinmura, KanayaDaizo, Fukui Yasuyuki, KanimatsuYuki, OzuShotaro, WatanabeYoshitomo, TosawaTakehiro, YamadaKoichi, IshiyamaJunichi, CL B61F 5/52, Europa, Patente EP 2 537 729 A1, 08 Julio 2010)

La presente invención se refiere a un bastidor del bogie para vehículo de ferrocarril incluyendo vigas laterales y estas unidas entre sí de manera que dispositivos tales como un motor, un freno de la unidad, y otros están montados en las vigas laterales.

7 REGISTRO PUBLICACIONES TÉCNICAS RELACIONADAS CON EL OBJETO DE ESTUDIO

7.1 Evaluación de durabilidad de un bastidor del bogie compuesto con vigas laterales en forma de arco

(Jung Seok Kim, Kwang Bok Shin, Hyuk Jin Yoon and Woo GeunLee, Journal of Mechanical Science and Technology, Durability evaluation of a composite bogie frame with bow-shaped side beams, 07 Abril 2011)

En el estudio actual, la seguridad estática estructural y la durabilidad de dos modelos compuestos de la estructura de bogie se evaluó utilizando un análisis de elementos finitos. Antes de la evaluación, las propiedades mecánicas del material base fueron medidas. La fatiga también se midió para evaluar la durabilidad. En base a los datos del material, la seguridad estructural estática se examinó utilizando el criterio de fallo Tsai-Wu bajo diez diferentes condiciones de carga.

7.2 Modelado y simulación de vibraciones en el bastidor del bogie.

(H. Claus and W. Schiehlen, Dynamics of vehicles on roads and tracks, Modelado y simulación de vibraciones en el bastidor del bogie, 22 Agosto 1997)

La investigación de la dinámica del sistema y sus efectos sobre el bogie, pista y cimientos es un tema importante en la ingeniería ferroviaria, usando técnicas de simulación y modelado, es analizado el bogie del tren Alemán ICE de alta velocidad. La representación de las irregularidades de la vía por funciones de densidad espectral de potencia se analiza y se compara con los datos de medición. Las vibraciones estructurales del bogie de ferrocarril son principalmente excitado por las vías. Estas vibraciones forzadas que resultan en estrés y la fatiga del bastidor del bogie son investigados por las simulaciones.

7.3 Diseño de un bogie ferroviario en conformidad con el estándar europeo EN13749

(Giampaolo Mancini, Alessandro Cera, Fstrenintaliadisqs, Design of railways bogies in compliance with the new EN13749 European standard, 01 Abril 2005)

Como consecuencia del desarrollo del proceso de estandarización en Europa, en abril del 2005 el nuevo estándar europeo EN13749 fue emitida por el cuerpo de estandarización europea CEN. El objetivo de la norma es definir el proceso completo de diseño del bogie ferroviario. Este incluye procesos de diseño, métodos de evaluación, verificación y requerimientos de calidad de manufactura. La norma codifica suposiciones de carga estática y fatiga, así como el cálculo y métodos de ensayos para verificar la estática y la resistencia a la fatiga de la estructura.

7.4 Análisis de las metodologías para el cálculo de la fatiga de bastidores de bogie ferroviario

(A.Cera, G.Mancini, V.Leonardi, L.BertiniTrenitaliaS.p.A Florence Italy, Pisa University Mech. Eng. Dept Pisa Italy, Analysis of methodologies for fatigue calculation for railway bogie frames, 20 Abril 2005)

El documento se centra en un análisis crítico a la resistencia a la fatiga del bastidor del bogie, con especial atención en las uniones soldadas. Las diferentes uniones de soldadura se analizaron críticamente incluyendo los dos métodos (límite de resistencia y el diagrama de Goodman) para las metodologías de cálculo propuestos en la norma europea EN 13749. Los criterios seleccionados, haciendo uso de un propósito desarrollado post-procesador para un programa de elementos finitos comercial (ANSYS) se compararon críticamente para la fiabilidad y la seguridad.

7.5 Problema de agrietamiento en las vigas transversales donde se unen los bogies del metro de Medellín resuelto utilizando análisis de fatiga.

(Roger Zimmerli, PROSE Ltda, Aluminum body shell cracking solved using fatigue analysis, 01 Octubre 2008)

El metro de Medellín opera una flota de 42 EMUs (unidades electricas multiples) construidos en Europa a finales de 1990 en los últimos 12 meses estos trenes han sufrido de un problema de agrietamiento que aparece en las vigas transversales donde se unen los bogies. La compañía planea mantener estos trenes en servicio hasta 2025, por lo que necesita una rectificación permanente del problema. Por lo tanto, se acude a PROSE Ltd. de Winterthur en Suiza en busca de ayuda, y en Octubre 2008 concedió a esta última empresa con un contrato para analizar el problema, averiguar por qué se siguen produciendo, y, sobre todo, para sugerir una solución permanente.

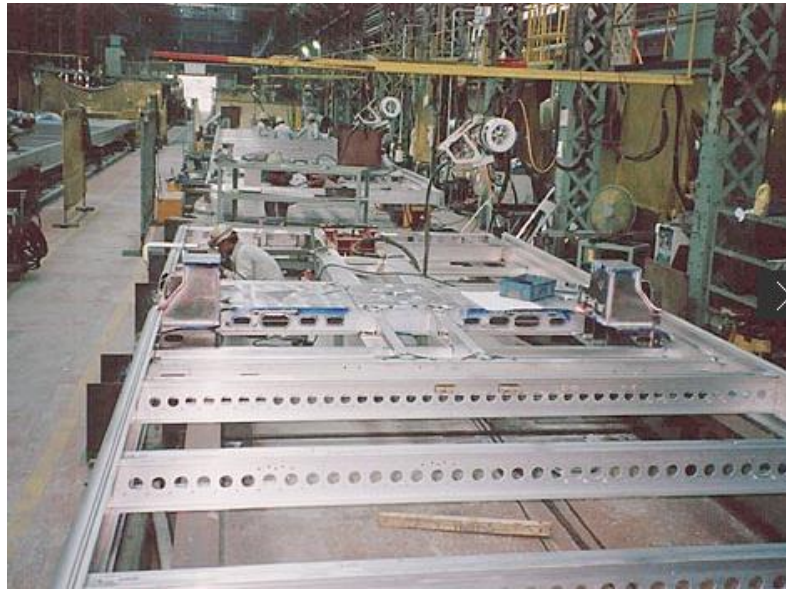
8 REGISTRO DE CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES USADOS EN EL OBJETO DE ESTUDIO

En un principio, se utilizaron materiales de madera para la construcción del cuerpo del ferrocarril. Posteriormente, los materiales de acero fueron adoptados para mejorar la seguridad contra incendios o choque. Sin embargo, los materiales de acero se corroen después de su uso continuo durante largos períodos. Las placas deben repararse después de una cierta propagación de la corrosión.

Por otro lado, va en contra de la tendencia actual el aumentar el espesor de las placas para mejorar el fenómeno de la corrosión, ya que el ferrocarril requiere ser más ligero para aumentar su capacidad de transporte y su rentabilidad.

Por lo tanto, se comenzaron a desarrollar trenes de aleación de aluminio buscando eliminar el fenómeno de la corrosión y reducir su peso. Aleaciones de aluminio son utilizadas como materiales principales para los aviones, ya que tienen igual resistencia que el acero y un tercio de gravedad específica. Se consideran ideal para los ferrocarriles, sin embargo, tomó un largo tiempo para ser popular en la realidad. Se utiliza sólo para algunos elementos de los ferrocarriles (Figura 2. Construcción underframe, Figura 3. Construcción underframe), pequeños teleféricos, tele cabinas y teleféricos. La razón fue que era costoso y se requiere de una tecnología avanzada para ser procesados. Algunos vagones experimentales utilizando materiales de aleación de aluminio se produjeron antes de la Segunda Guerra Mundial. Se construyeron trenes tipo "MOHA63" (Figura 4. Tren MOHA63) utilizando materiales excedentes de duraluminio para aviones durante el período de la posguerra, cuando los materiales eran escasos.

Figura 2. Construcción underframe



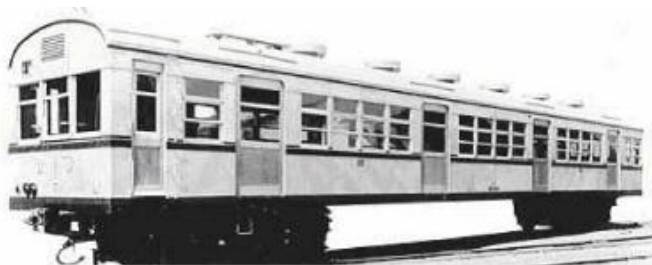
(Corp)

Figura 3. Construcción underframe



(Corp)

Figura 4. Tren MOHA63



(Sozagaku)

El mayor beneficio de un tren de aleación de aluminio, se ve reflejado en el peso de la estructura de la carrocería, ya que esta pesa la mitad en comparación a la fabricada en acero. Esto reduce el peso de todo el tren en un 10 a 15%, representando un mayor ahorro en el costo de la energía.

Cuando se utilizan materiales de aleación de aluminio en los trenes, se aplican diversos métodos de fabricación, para reducir sus costos de producción. Por ejemplo, se reduce el número de componentes generando una extrusión de una figura compleja de muchos componentes como una pieza entera, mientras que para un tren de acero cada componente se procesa a partir de distintas placas.

Entre las diversas aleaciones de aluminio encontramos las aleaciones Al-Zn-Mg (Aleaciones 7XXX) las cuáles son las más utilizadas en los trenes. En las aleaciones de serie 7xxx el Zn añadido en proporciones que van desde el 1 - 8 % es el elemento aleante en mayor porción en estas aleaciones. A veces se añaden pequeñas cantidades de Mg para hacer la aleación tratable térmicamente. También es normal añadir otros elementos aleantes como Cu o Cr en pequeñas cantidades. Debido a que la principal propiedad de estas aleaciones es su alta dureza se suele usar en las estructuras de los aviones, equipos móviles y otras partes altamente forzadas. Debido a que esta serie

muestra una muy baja resistencia a la corrosión bajo tensión se le suele aplicar levemente un tratamiento térmico para conseguir una mejor mezcla de propiedades.

Las aleaciones de esta serie se clasifican en dos tipos: la aleación Al-Zn-Mg-Cu que tiene la mayor fuerza entre las aleaciones de aluminio y la aleación Al-Zn-Mg para las estructuras de la soldadura. La 7075, una de la aleación Al-Zn-Mg, Cu, se utiliza para aviones, artículos deportivos, etc. Por el contrario, la aleación Al-Zn-Mg tiene relativamente alta resistencia, que se desarrolló principalmente como material de soldadura estructural y ahora se utiliza para los materiales estructurales en los tren de alta velocidad y en otros tipos de trenes.

(haomeicn)

La aleación 7075 (Al,Zn,Mg,Cu,1,5) se trata de una de las aleaciones con las características más elevadas dentro de los aluminios. El desarrollo de esta aleación ha hecho posible su utilización en campos hasta ahora reservado a los aceros.

Tabla 4. Características técnicas 7075 (Al, Zn, Mg, Cu, 1,5)

COMPOSICIÓN QUÍMICA										
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Ti+Zr	Otros	Al
0,40%	0,50%	1,20-2,00%	0,30%	2,10-2,90%	0,18-0,28%	5,10-6,10%	0,20%	0,25%	0,15%	Resto
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS										
Estado				T-651	APLICACIONES Se aplica en armamento, aeronáutica y en la industria del automóvil. Construcción de maquinaria, moldes para inyección de plásticos, moldes de soplado, moldes de embutición profunda al vacío, moldes para extrusión de plásticos, soportes para todo tipo de moldes, tornillería, moldes para inyectado de gomas, etc.					
Peso específico	gr/cm³			2,80						
Carga de rotura	Kgr/mm²			45-53						
Límite elástico	Kgr/mm²			38-45						
Alargamiento	%			10	FORMATOS DE SUMINISTRO Placas Espesores de 10 a 300 mm Formatos 3000 x 1500 mm Barras Redondas Ø mm de 20 a 200 Piezas cortadas a medida					
Resistencia a la cizalladura	Kgr/mm²			34						
Módulo Elástico	N/mm²			72.000						
Dureza Brinell	HB			150-160						

(sebastianfustel)

Tabla 5. Propiedades físicas aleación 7075

7075

- Productos: Chapas, secciones extruidas, barras y tubos
- Composición química en % (AFNOR A50-411 Y A50-451)

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr+Ti	Otros	Al
Min			1.20		2.10	0.18	5.10			c/u	Total
Max	0.40	0.50	2.00	0.30	2.90	0.28	6.10	0.0	0.25	0.05	0.15 resto

- Propiedades físicas:

Densidad [gr/cm³]	2.80	Coef. De Dilatación (0 a 100 ° C) [° C ⁻¹ x 10 ⁶]	23.5
Rango de Fusión [° C]	475-630	Conductividad Térmica (0 a 100 ° C) [W/m ° C]	Temple T6: 130
Modelo de Elasticidad [Mpa]	72000	Resistividad a 20 ° C [μΩ cm]	Temple T6: 5.2
Coef. De Poisson	0.33	Calor Específico (0 a 100 ° C) [J/Kg ° C]	915

Tabla 6. Propiedades tecnologicas aleación 7075

Clasificación: (A) Muy Buena (B) Buena (C) Aceptable (D) Pobre o No Recomendado

Proceso	Clasificación	Proceso	Clasificación
<u>Soldabilidad</u>		<u>Maquinabilidad</u> Temple T6	
Electron Beam	B	Corte de Viruta	B
Gas Inerte (TIG o MIG)	D	Brillo de la superficie	B
Por Resistencia	B	Mecanizada	
Brazing	C		
<u>Embutido Profundo</u>		<u>Resistencia a la corrosión</u>	
Recocido		Agentes atmosféricos	C
Semi duro		Ambiente Marino	D
Duro			
<u>Repujado</u> Temple 0		<u>Anodizado</u>	
		Protección	B
		Brillante	C
		Duro	A

Tabla 7. Propiedades mecanicas a temperatura ambiente aleación 7075

7075

● Propiedades mecánicas a temperatura ambiente
Según AFNOR A 50-411 (productos extrudados) y A 50-451 (productos laminados) (Edición Octubre 1981)

Producto	Temple	Diámetro D[mm] Espesor e [mm] Sección S [mm ²]	Ensayo de tracción				Radio de plegado min
			σ_r [MPa]		$\sigma_{0.2}$ [MPa]	ϵ [%]	
			min	max	min	min	
Laminados	0	$0.35 \leq e \leq 0.8$		280	150 max	10	1 e
		$0.80 < e \leq 1.6$		280	150 max	10	2 e
		$1.60 < e \leq 3.2$		280	150 max	10	3 e
		$3.20 < e \leq 12$		280	150 max	10	
	T6	$0.35 \leq e \leq 0.8$	525		455	7	
		$0.80 < e \leq 3.2$	535		465	8	
		$3.20 < e \leq 6.0$	535		470	8	
		$6.00 < e \leq 12$	535		455	8	
	T651	$6.00 < e \leq 12$	535		460	6	
		$12.0 < e \leq 25$	530		450	5	
		$25.0 < e \leq 40$	515		435	5	
		$40.0 < e \leq 60$	485		410	4	
	T7351*	$60.0 < e \leq 80$	460		370	3	
		$80.0 < e \leq 100$	450		360	2	
		$100 < e \leq 120$	475		390	7	
		$6.00 < e \leq 25$	470		390	6	
		$25.0 < e \leq 40$	460		370	6	
		$40.0 < e \leq 50$	455		370	6	
		$50.0 < e \leq 60$	440		350	6	
		$60.0 < e \leq 80$	430		340	6	
		$80.0 < e \leq 100$					
Perfiles	T6	$S \leq 2000$ $1.2 < e \leq 2$	530		460	8	
		$2000 < S \leq 8000$ $e > 2$	530		460	7	
Barras	0 (H111)	$2000 < S < 8000$		275	165 max	9	
		$S \leq 8000$	540		470	7	
		$8000 < S \leq 16000$	530		470	6	
		$16000 < S \leq 20000$	530		440	6	
	T73*	$6 \leq D \leq 10$	470		400	8	
		$10 \leq e \circ D \leq 25$	485		420	8	
		$25 \leq e \circ D \leq 50$	485		415	8	
		$50 \leq e \circ D \leq 75$	475		410	8	
		$75 \leq e \circ D \leq 100$	470		390	7	
Caños	0 (H111)	$D \leq 150$ $e \leq 6$		275	165 max	9	
	T6	$D \leq 150$ $e \leq 6$	540		485	8	

(S.R.L.)

9 REGISTRO DE PROCESOS DE MANUFACTURA RELACIONADOS CON EL OBJETO DE ESTUDIO

Un proceso de manufactura es un conjunto de operaciones, el cual permite el cambio de forma, propiedades o apariencia de la materia prima, estas características pueden ser variadas tales como densidad, resistencia o el tamaño.(virgeliz)

9.1 Maquinabilidad de aleaciones de aluminio

La mayoría de las aleaciones están basadas en sistemas de aluminio-cobre o aluminio-silicio, con adiciones para mejorar las características de fundición o de servicio. Entre las aleaciones aluminio-cobre, la que contiene 8% de cobre ha sido usada por mucho tiempo como la aleación para fines generales, aunque las adiciones de silicio y hierro, mejoran las características de la fundición ya que la hace menos quebradiza en caliente, la adición de zinc, mejora su maquinabilidad.

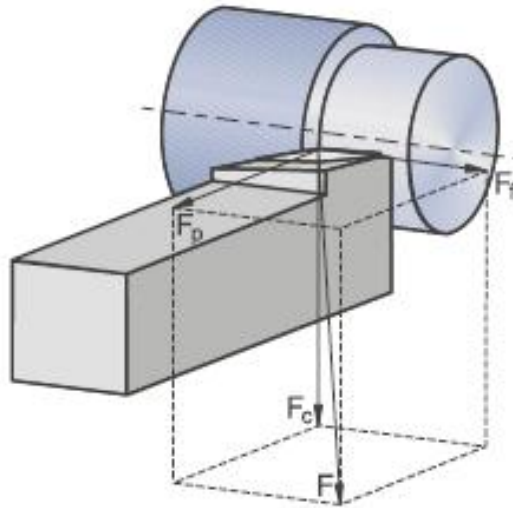
Las aleaciones de aluminio-magnesio son superiores a casi todas las otras aleaciones de fundición de aluminio en cuanto a resistencia, corrosión y maquinabilidad.

El aluminio puro y las aleaciones de aluminio-manganeso son duros para maquinar, a no ser que se empleen herramientas especiales con mayor ángulo de salida que el acostumbrado para el acero. (spences)

Para el proceso de mecanizado del aluminio se necesita tan sólo un 30 % de la fuerza de corte en comparación a materiales de acero. La influencia del material de la pieza sobre la fuerza de corte se expresa por la fuerza de corte específica, la magnitud de esta fuerza varía con el ángulo de desprendimiento.

El aumento de este ángulo en un grado representa una reducción en la fuerza de aproximadamente 1,5%.

Figura 5. Fuerza de corte



(unal)

9.2 Herramientas mecanizado

Gran parte de los procesos de manufactura que implican arranque de viruta para el aluminio necesitan herramientas especiales. Estas se distinguen de las empleadas en el mecanizado del acero en poseer mayores ángulos de desprendimiento y mayor espacio para la salida de la viruta.

Estas son las herramientas de filo múltiple es el caso de las fresas, este tipo de herramientas tienen sólo unos pocos dientes. (upc)

Figura 6. Materiales de corte para el aluminio

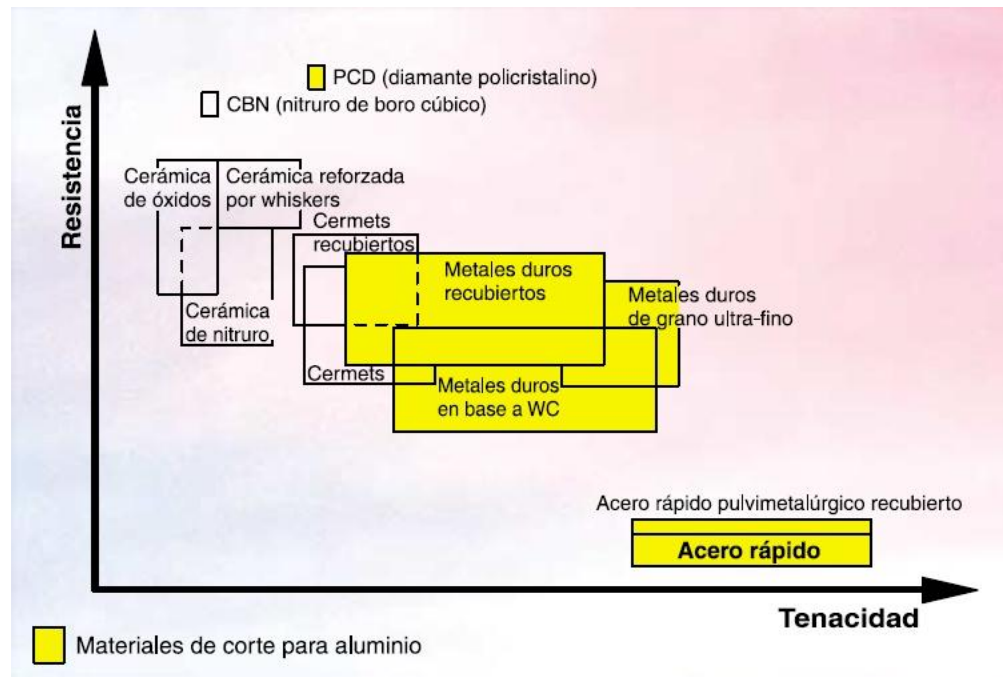


Tabla 8. Propiedades y recomendaciones herramienta

HERRAMIENTAS	PROPIEDADES Y RECOMENDACIONES
Acero rápido	<p>El acero rápido es apropiado para el mecanizado de aleaciones de aluminio con bajo contenido en silicio. Permite el uso de grandes ángulos de desprendimiento para obtener unas mejores condiciones de corte. Las temperaturas máximas de trabajo para este tipo de herramientas se sitúan en los 500°C. Los elementos de aleación más característicos de este tipo de metales son el carbono, el tungsteno, el cromo el molibdeno y el vanadio. Éste último es el que, en proporciones adecuadas (entre un 2 y un 4%) garantiza una adecuada resistencia a la abrasión y al desgaste.</p> <p>El acero rápido es más económico que el metal duro cuando la maquinaria de que se dispone no permite el uso de las velocidades de corte alcanzables con el carburo metálico. En el mecanizado de aluminios con elevado contenido de silicio (grupo 111) el desgaste de este tipo de herramientas se acelera.</p>
Metal duro	<p>Las herramientas de carburo metálico, también denominadas metal duro, ofrecen la ventaja de una mayor duración de la herramienta. Se emplean en el mecanizado de aluminios con elevado contenido en silicio así como para los mecanizados a altas velocidades de corte. Las fundiciones de aluminio, con la presencia de cristales de silicio de elevada dureza requieren obligatoriamente el uso de herramientas de carburo metálico. Dentro de los carburos metálicos los distintos fabricantes tienen distintas gamas y calidades, en función de las condiciones de corte requeridas.</p>
Diamante	<p>Las herramientas de diamante se caracterizan por su elevada duración, incluso si se emplean en el mecanizado de aleaciones con un elevado contenido en silicio. Suelen emplearse para trabajos de acabado en aleaciones de aluminio que generan largas astillas, o para máquinas automáticas trabajando con aluminios que generan una viruta corta.</p>

(unal)

9.3 Tipo de maquinaria para el mecanizado

Para el caso de las aleaciones de aluminio deben procesarse en máquinas que permitan alcanzar como mínimo las velocidades de corte mínimas recomendadas para una aleación dada, y que no genere vibraciones al mecanizar a elevadas velocidades de corte.

Para mecanizar este tipo de aleaciones se recomiendan máquinas de tipo rígido, con cojinetes firmes y elevadas velocidades en su eje de giro, al igual que motores potentes, además de evacuar de modo efectivo la viruta. (internacional)

9.4 Parámetros recomendados para los procesos de mecanizado

En las aleaciones de aluminio, los procesos de mecanizado, debido a la elevada producción de viruta, es mucho más económico el mecanizado de pre-formas obtenidas por extrusión o forja.

9.5 Herramientas torneado aluminio

Se deberán utilizar plaquitas con forma básica positiva y filos agudos.

Se utiliza GC1005 que es una calidad de metal duro con recubrimiento PVD (Physical Vapour Deposition) con elevada resistencia al desgaste, que se recomienda para desbaste.

Las plaquitas H10 no llevan recubrimiento y es la calidad de primera elección en la mayor parte de los casos, desde desbaste hasta acabado.

Para acabado en condiciones estables, es recomendable la calidad de plaquita CD10 con punta de diamante poli cristalino (PCD). CD10 soporta mejor el filo de aportación que las calidades de metal duro. Ofrece mejor acabado superficial y mayor duración de la herramienta.

Para el caso de aleaciones de aluminio con contenido de Si superior al 13%, se debe utilizar CD10 (PCD) ya que la duración de las calidades de metal duro se reduce de forma importante.

Figura 7. Plaquetas H10 CD10



9.6 Parámetros para el torneado

Tabla 9. Parámetros para el torneado

A) DESBASTE / HERRAMIENTA DE ACERO RÁPIDO

ALEACIÓN	TRATAM. TERMICO	V CORTE M / MIN	Ángulo de incidencia	Ángulo de desprendt	avance mm / rev	prof. mm	Fluido
5754	0/H111	250-400	10-12	33-40	--> 1.0	3-15	none
5083	0/H111	200-350	9-11	30-37	--> 1.0	3-15	none
-----	0	200-350	9-11	30-37	--> 1.0	3-15	none
6082	T651	150-250	8-10	23-30	0.2-0.6	3-15	none
2017	T451	150-250	8-10	23-30	0.2-0.6	3-15	none
7020	T651	150-250	8-10	23-30	0.2-0.6	3-15	none
7022	T651/T73	100-200	7-9	20-27	0.2-0.5	3-15	none
7075	T651/T73	100-200	7-9	20-27	0.2-0.5	3-15	none
7010	T651/T73	100-200	7-9	20-27	0.2-0.4	3-15	none

B) DESBASTE / HERRAMIENTA DE METAL DURO

ALEACIÓN	TRATAM. TERMICO	V CORTE M / MIN	Ángulo de incidencia	Ángulo de desprendt	avance mm / rev	prof. mm	Fluido
5754	0/H111	800-1200	7-10	25-30	0.4-0.6	3-15	none
5083	0/H111	600-1000	7-10	25-30	0.4-0.6	3-15	none
-----	0	600-1000	7-10	25-30	0.4-0.6	3-15	none
6082	T651	250-400	7-10	15-25	0.3-0.5	3-15	none
2017	T451	250-400	7-10	15-25	0.3-0.5	3-15	none
7020	T651	250-400	7-10	15-25	0.3-0.5	3-15	none
7022	T651/T73	200-350	7-10	10-20	0.25-0.5	3-15	none
7075	T651/T73	200-350	7-10	10-20	0.25-0.5	3-15	none
7010	T651/T73	200-350	7-10	10-20	0.25-0.5	3-15	none

C) ACABADO / HERRAMIENTA ACERO RÁPIDO

ALEACIÓN	TRATAM. TERMICO	V CORTE M / MIN	Ángulo de incidencia	Ángulo de desprendt	avance mm / rev	prof. mm	Fluido
5754	0/H111	500-900	8-10	40-50	0.10-0.30	0.3-2.5	emulsion
5083	0/H111	400-800	8-10	40-50	0.05-0.30	0.3-2.5	emulsion
-----	0	400-800	8-10	40-50	0.05-0.30	0.3-2.5	emulsion
6082	T651	300-500	7-9	35-45	0.03-0.25	0.3-2.5	emulsion or oil
2017	T451	300-500	7-9	35-45	0.03-0.25	0.3-2.5	"
7020	T651	300-500	7-9	35-45	0.03-0.25	0.3-2.5	"
7022	T651/T73	200-400	7-9	30-40	0.03-0.20	0.3-2.5	"
7075	T651/T73	200-400	7-9	30-40	0.03-0.20	0.3-2.5	"
7010	T651/T73	200-400	7-9	30-40	0.03-0.20	0.3-2.5	"

D) ACABADO / HERRAMIENTA METAL DURO

ALEACIÓN	TRATAM. TERMICO	V CORTE M / MIN	Ángulo de incidencia	Ángulo de desprendto.	avance mm / rev	prof. mm	Fluido
5754	O'H111	-->2400	8-10	25-30	-->0.15	0.3-2.5	emulsion or oil
5083	O'H111	-->2400	8-10	25-30	-->0.15	0.3-2.5	"
-----	0	-->2400	8-10	25-30	-->0.15	0.3-2.5	"
6082	T651	350-700	7-9	15-25	0.05-0.1	0.3-2.5	"
2017	T451	350-700	7-9	15-25	0.05-0.1	0.3-2.5	"
7020	T651	350-700	7-9	15-25	0.05-0.1	0.3-2.5	"
7022	T651/T73	250-500	7-9	10-20	0.03-0.1	0.3-2.5	"
7075	T651/T73	250-500	7-9	10-20	0.03-0.1	0.3-2.5	"
7010	T651/T73	250-500	7-9	10-20	0.03-0.1	0.3-2.5	"

(upcommons)

9.7 Comportamiento de las aleaciones de aluminio para forja

Las aleaciones no bonificables según la designación AA son las 1XXX, 3XXX y algunas 4XXX y 5XXX, siendo las aleaciones de este tipo soldables. Las aleaciones bonificables según la AA son las 2XXX y algunas 4XXX, 5XXX, 6XXX y 7XXX. El soldeo no es recomendable para muchas de las aleaciones de este tipo, sin embargo si se pueden soldar casi todas las aleaciones 5XXX, 6XXX y las aleaciones 2219, 7005 y 7039. En la siguiente tabla se indica la soldabilidad de algunas aleaciones de aluminio, habiéndose seleccionado casi todas las que son soldables por procesos TIG y MIG.

Tabla 10. Soldabilidad de las aleaciones de aluminio según el proceso de soldeo

Tipo de aleación	Designación		Proceso			
	UNE	Aluminum Association	MIG TIG	Por resistencia por puntos o por costura	Soldeo fuerte	Soldeo blando
No bonificable	L-3001	1100	A	A	A	A
	L-3810	3003	A	A	A	A
	L-3820	3004	A	A	B	B
	L-3360	5052	A	A	C	C
		5652				
	L-3321	5083	A	A	X	X
	L-3322	5086	A	A	X	X
	L-3390	5454	A	A	X	X
		5456	A	A	X	X
Bonificable	L-3140	2024	C	A	X	C
	L-3191	2219	A	A	X	C
	L-3420	6061	A	A	A	B
	L-3441	6063	A	A	A	B
	L-3431	6101	A	A	A	A
	L-3451	6351	A	A	A	A
	L-3741	7005	A	A	B	B
	L-3731	7039	A	A	C	B
	L-3710	7075	C	A	X	C

- A- Aleación soldable por el proceso indicado.
- B- Aleación soldable por el proceso indicado en la mayoría de los casos. Puede requerir técnicas o ensayos especiales para determinar las técnicas adecuadas.
- C- Difícilmente soldable mediante el proceso indicado.
- X- No se recomienda el soldeo por el proceso indicado.

9.8 Factores influyentes en la realización de las uniones soldadas.

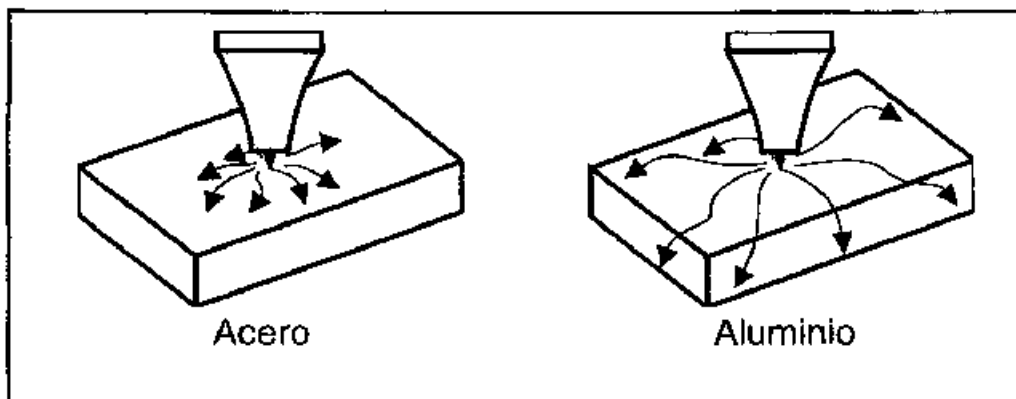
9.8.1 Temperatura de fusión del aluminio

El aluminio puro funde a unos 600°C y las aleaciones de aluminio a unos 560°C , temperaturas muy bajas en comparación con la del acero (1535°C) y la del cobre (1082°C). Sin embargo las aleaciones de aluminio no cambian de color durante el calentamiento, por lo que se corre el riesgo de perforar la pieza.

9.8.2 Conductividad térmica

Las aleaciones de aluminio conducen el calor tres veces más rápido que el acero, por lo que se requerirá un aporte térmico más elevado para soldar una pieza de aluminio que una de acero, aunque ambas tengan las mismas dimensiones. Para conseguir una buena fusión cuando la pieza tenga gran espesor, es necesario realizar un precalentamiento.

Figura 8. Comparación de la conductividad térmica del acero y del aluminio.



9.8.3 Dilatación térmica

Las aleaciones de aluminio se dilatan dos veces más que el acero al calentarse, lo que puede provocar grandes tensiones internas y deformaciones en las piezas durante el soldeo.

También es mayor la tendencia a la disminución de la separación en la raíz en las piezas a tope. El soldeo a bajas velocidades y con gran cantidad de metal de aportación incrementa las deformaciones y la tendencia a la rotura.

9.8.4 Óxido de aluminio

En las aleaciones de aluminio, en presencia de aire, se forma alúmina (óxido de aluminio) con gran facilidad. Este óxido tiene una temperatura de fusión muy elevada, entre 1200°C y 2000°C mayor que la temperatura de fusión del aluminio. Por tanto el aluminio funde antes que su óxido y, cuando esto sucede, la película de óxido impide la fusión entre el metal base y el metal de aportación, por lo que es imprescindible eliminar o retirar la capa de óxido mediante un decapado químico, un fundente, amolado o mediante la acción decapante del arco eléctrico.

En el soldeo MIG y TIG (con CC+ o CA respectivamente) el arco eléctrico decapa la superficie de la pieza eliminando el óxido y la envoltura del gas inerte previene la contaminación del baño.

En algunas ocasiones, y debido a una mala limpieza, se puede quedar atrapado algún óxido en el baño de fusión que dará lugar a una imperfección en la soldadura. Es imprescindible limpiar las piezas antes del soldeo y cepillarlas utilizando cepillos con púas de acero inoxidable. Estos cepillos deberán destinarse exclusivamente a la limpieza de aluminio.

9.8.5 PROCESOS DE SOLDEO

El aluminio y sus aleaciones pueden soldarse mediante la mayoría de los procesos de soldeo por fusión, así como por soldeo blando, fuerte y soldeo en estado sólido. El soldeo por fusión se puede realizar mediante TIG, MIG, por resistencia, plasma, láser y haz de electrones. El soldeo con electrodos revestidos y oxigás sólo se emplea en reparaciones, o cuando no es posible utilizar otro proceso por carencia de medios. El proceso por arco sumergido no se realiza.

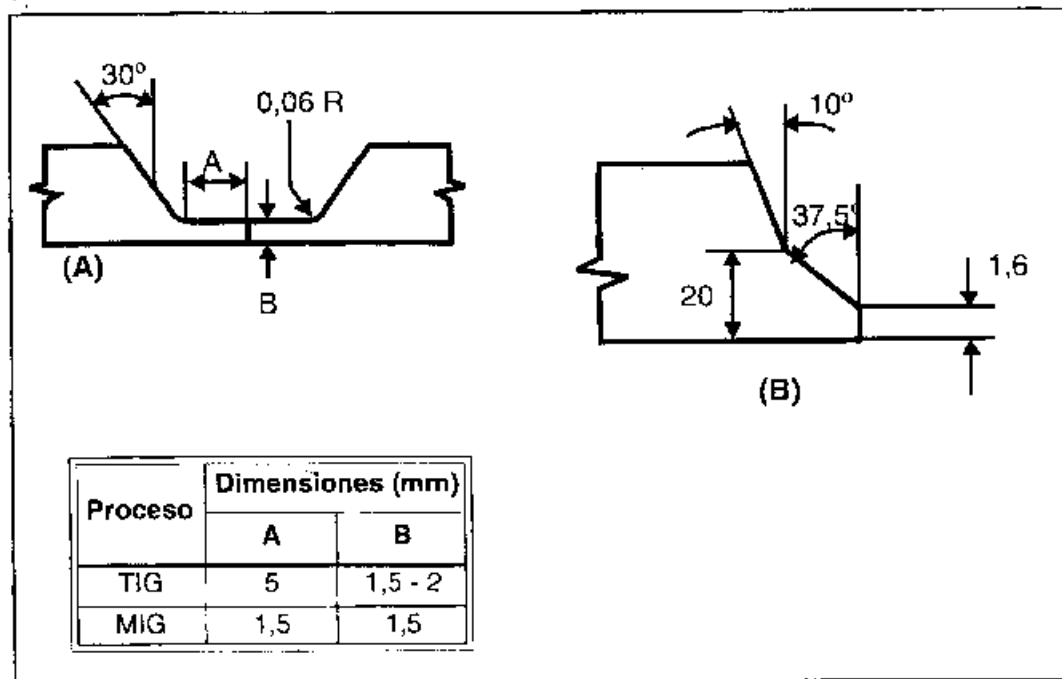
9.9 RECOMENDACIONES PARA LA REALIZACIÓN DEL SOLDEO

9.9.1 Geometría de la unión

Se puede emplear un diseño especial (fig. A) cuando sólo se puede realizar el soldeo TIG o MIG por una sola cara y sea imprescindible obtener una raíz suave y lisa. Se puede utilizar para espesores mayores de 3mm y en cualquier posición. Aunque se consigue con relativa facilidad una buena penetración se requiere gran cantidad de metal de aportación y las deformaciones pueden ser mayores que las que se producen con diseños convencionales. Se aplica principalmente en tubería, sobre todo en posición fija.

En las uniones en V no se recomiendan ángulos de chaflán menores de 60°. Para espesores gruesos se puede emplear una geometría como la de la figura 9.

Figura 9. Geometría de la unión para casos especiales



9.9.2 Precalentamiento

No suele ser necesario el precalentamiento. Como excepción se consideran las piezas de gran espesor, en las que un precalentamiento adecuado puede disminuir el aporte térmico requerido para conseguir la fusión y penetración requeridas. Aunque puede ser habitual precalentar cuando se realizan soldaduras TIG, no lo es cuando se emplea el MIG.

No se debe abusar del precalentamiento pues puede ser perjudicial para el aluminio. En las aleaciones bonificables, como la AA 6061, un precalentamiento a temperatura elevada disminuirá las propiedades mecánicas. Las aleaciones con un 3-5.5% de magnesio (Mg), como las 5XXX, no deben precalentarse por encima de 115°C y la temperatura entre pasadas será inferior a 150°C.

En muchas ocasiones se utilizan lápices térmicos para determinar la temperatura de la pieza.

A continuación se indican las temperaturas de precalentamiento recomendadas

Tabla 11. Temperaturas de precalentamiento para uniones en tuberías y chapa a tope de aleaciones de aluminio.

TUBERÍA				CHAPA		
Diámetro Exterior (mm)	Espesor (mm)	Temperatura de Precalentamiento (°C)		Espesor (mm)	Temperatura de Precalentamiento (°C)	
		TIG (c.a.)	MIG		TIG (c.a.)	MIG
25 - 150	3	Ninguna	NR	3 - 9	Ninguna	Ninguna
25 - 75	6	65	Ninguna	9 - 12	150 - 175	Ninguna
75 - 150	6	65 - 150	Ninguna	19 - 75	NR	65 opcional

9.9.3 Punteado

Debe ser cuidadoso y se recomienda eliminar los puntos a medida que avanza la soldadura.

En el caso de ser incorporados a la soldadura, se resanarán las grietas o defectos de los puntos antes del soldeo, preparándose el principio y el final del punto para permitir una buena fusión de éste. En las soldaduras por ambos lados, se resanará antes de realizar la primera pasada por el otro lado. Como regla general cada punto tendrá una longitud de 10 veces el espesor de la pieza.

10 CONCLUSIONES

Podemos concluir que el material más adecuado para la fabricación de la viga pivote es una aleación de aluminio 7075, ya que esta es una de las aleaciones con las características más elevadas dentro de los aluminios. El desarrollo de esta aleación ha hecho posible su utilización en campos hasta ahora reservados a los aceros. Debido a su dureza, alta densidad, propiedades térmicas y buena resistencia a la fatiga frente a otros metales.

La regulación de los distintos procedimientos en la fabricación de componentes, permiten adaptar los productos, procesos y/o servicios a los fines para los que están destinados, asegurando así una buena calidad en la fabricación. A pesar que la norma es un documento el cual permite su aplicación de forma voluntaria, contiene especificaciones técnicas las cuales se fundamentan en los resultados de la experiencia y del avance tecnológico.

Las piezas fabricadas con aleaciones de aluminio se pueden obtener por moldeo, dando como resultado piezas de diversas formas, al igual que por medio de procesos que requieren deformación, como por ejemplo la laminación o la forja.

Los diferentes tipos de aleaciones de aluminio se pueden soldar por medio de los procesos de soldeo por fusión comúnmente utilizados. El soldeo por fusión se puede realizar mediante TIG, MIG, por resistencia, plasma, láser y haz de electrones.

La aleación de aluminio 7075 posee con una alta resistencia debido a su contenido de zinc, esto permite que se pueda utilizar en piezas altamente tensionadas, otras ventajas de este tipo de aleación es su buena resistencia a la fatiga es fácil de mecanizar y buena estabilidad dimensional.

Se puede evidenciar que los países con mayores patentes relacionadas al objeto de estudio son Estados Unidos y España, manteniendo regulaciones y adelantos tecnológicos relacionados al tema de gran importancia para la industria ferroviaria.

Los métodos de manufactura que se utilizan para la fabricación de la viga pivote son la extrusión y forja, Siendo estos dos los procesos más adecuados para el buen funcionamiento y calidad del elemento.

La mayoría de patentes encontradas relacionadas con el objeto de estudio son de los finales de los años 90's, mostrando así que la construcción y utilización de estos elementos siguen vigentes en algunas ocasiones con pequeñas variaciones para la construcción de trenes en los últimos años.

Según las publicaciones técnicas encontradas el fenómeno de mayor impacto en el buen funcionamiento y durabilidad del objeto de estudio son las vibraciones forzadas que resultan en estrés y la fatiga del bastidor del bogie.

11 BIBLIOGRAFÍA

Alberto, Mora Gutierrez. 2009. *Mantenimiento industrial efectivo*. Medellín : Coldi, 2009. 9789589890202.

Amador, Sancho Frias Jose. 2008. *gestion del punto de venta*. España : Vertice S.L, 2008. 978-84-92578-46-7.

Amalec. slideshare. *slideshare*. [En línea] [Citado el: 19 de 4 de 2013.] http://www.slideshare.net/Amalec_All/procesos-de-formado.

aula2.elmundo. aula2.elmundo. [En línea] [Citado el: 15 de Febrero de 2013.] <http://aula2.elmundo.es/aula/laminas/lamina1069152318.pdf>.

Bastidores De Maquinas y Perfiles Estructurales.

Bohan, William F. 2003. *El poder oculto de la productividad*. Bogota : Grupo editorial Norma, 2003. 958-04-7120-7.

catarina.udlap. [En línea] [Citado el: 15 de Febrero de 2013.] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/capasso_g_ag/capitulo0.pdf.

coches20. coches20. [En línea] [Citado el: 15 de Febrero de 2013.] <http://www.coches20.com/definicion-de-chasis/>.

Corp, Kawasaki. khi.co. [En línea] [Citado el: 19 de 4 de 2013.] http://www.khi.co.jp/english/rs/tech/aluminum_alloy/tec_al_3.html.

Curso Mantenimiento Productivo Total. **Alzate, Juan Felipe. 2009.** Medellín : Eafit, 2009.

Duffuaa, Salih, Dixon Campbell, Jhon y Raouf. 2000. *Sistemas de mantenimiento Planeación y control*. Balderas Mexico : Limusa, 2000.

Ecured. ecured. *ecured.* [En línea]
http://www.ecured.cu/index.php/Deformaci%C3%B3n_de_metales#Forjado.

Etimologias. etimologias. *etimologias.* [En línea] [Citado el: 21 de 4 de 2013.]
<http://etimologias.dechile.net/?extrusio.n>.

Futech. 2010. Futech Group S.A. 2010. Medellín, Colombia : s.n., 15 de 06 de 2010.

haomeicn. haomeicn. *haomeicn.* [En línea] [Citado el: 2013 de 4 de 17.]
http://www.haomeicn.com/ep/technology_rd.asp?FatherId=3&SonId=112.

Harris y Kelly. 1998. *Gestion del mantenimiento industrial.* Madrid : Ulises, 1998.
84-923506-0-1.

ICONTEC. 2008. Norma técnica Colombiana. *Sistemas de gestión de la calidad.*
Medellín : ICONTEC, 2008. Vol. Tercera edicion, 3. I.C.S.:03.120.10.

internacional, maquinaria. maquinaria internacional. [En línea] [Citado el: 17 de 05 de 2013.] <http://www.maquinariainternacional.com/maquinaria/de/mbb-maquina-para-mecanizado-de-perfiles-de-aluminio-y-perfiles-de-fibra-de-carbono.asp?nombre=47&cod=47&sesion=1>.

IPM. hemaruce.angelfire. *hemaruce.angelfire.* [En línea] [Citado el: 20 de 4 de 2013.] <http://hemaruce.angelfire.com/IPM.pdf>.

itcsoldadura. 2008. itcsoldadura. [En línea] 29 de Diciembre de 2008.
http://www.itcsoldadura.org/index.php?option=com_content&view=article&id=153&Itemid=63.

Jimenez, Alirio J. 2010. Mantenimiento Lantino Americano. [En línea] Blog, 16 de 07 de 2010. [Citado el: 09 de 09 de 2011.]
<http://maintenancela.blogspot.com/2010/07/analisis-de-riesgos-e-indice-de.html>.

Leal, Tiana. slideshare. *slideshare*. [En línea] [Citado el: 19 de 4 de 2013.] http://www.slideshare.net/Tiana_Leal/procesos-de-manufactura-trabajo.

M. Marbán, Rocío y Pellecer, Julio. 2002. *Metrología para no metrólogos*. Guatemala : OEA, 2002. 99922-770-0-9.

Méndez, Julio Orduña. 2011. *ANÁLISIS A FATIGA DE UN EJE DE TREN DE ALTA VELOCIDAD: ESTUDIOS CON FISURAS*. Madrid : s.n., 2011.

Mendoza, Rosendo Huerta. 2010. Confiabilidad.net. *La cultura de confiabilidad*. [En línea] 07 de 06 de 2010. [Citado el: 05 de 09 de 2011.] <http://confiabilidad.net/articulos/el-analisis-de-criticidad-una-metodologia-para-mejorar-la-confiabilidad-ope/>.

mipymes. 2011. mipymes. [En línea] 2011. [Citado el: 15 de Febrero de 2013.] <http://www.mipymes.gov.co/publicaciones.php?id=2492>.

Mora, Alberto - Gutiérrez. 2007a. *Mantenimiento Estratégico para empresas industriales o de servicios*. Segunda. Envigado : AMG, 2007a. pág. 306. ISBN 978-958-3382185.

Mora, Alberto- Gutiérrez. 2009. *Mantenimineto Industrial Efectivo*. Medellín : Coldi, 2009. 9789589890202.

Moubray, Jhon. 2004. *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad*. United Kingdom : Aladon Ltd, 2004. 09539603-2-3.

S.R.L., M. Metal. M. Metal S.R.L. *M. Metal S.R.L.* [En línea] [Citado el: 2013 de 4 de 18.]

Sacristán, Francisco Rey. 2001. *Manual del mantenimiento integral en la empresa*. Madrid : Fundación Confemetal, 2001. 84-95428-18-0.

Sandvik. dormertools. *dormertools*. [En línea] [Citado el: 21 de 4 de 2013.] [http://www.dormertools.com/sandvik/2531/internet/s004114.nsf/Alldocs/Product*2DMachiningSolutions*2DPDF*2ATH*2DPDFes/\\$file/8Fresado.pdf](http://www.dormertools.com/sandvik/2531/internet/s004114.nsf/Alldocs/Product*2DMachiningSolutions*2DPDF*2ATH*2DPDFes/$file/8Fresado.pdf).

sandvik. sandvik coroman. [En línea] [Citado el: 17 de 05 de 2013.] http://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/general_turning/getting_started/turning_different_materials/aluminium_turning/pages/default.aspx#2.

scribd. scribd. *scribd*. [En línea] [Citado el: 21 de 4 de 2013.] <http://es.scribd.com/doc/3603199/5-Tecnicas-de-Doblado>.

scribd. scribd. *scribd*. [En línea] [Citado el: 21 de 4 de 2013.] <http://es.scribd.com/doc/19242805/Taladrado>.

sebastianfustel. sebastianfustel. *sebastianfustel*. [En línea] [Citado el: 2013 de 4 de 17.] http://www.sebastianfustel.es/catalog/acero-aluminio/aluminio/pdf/ALUMINIO_7075.pdf.

Sistemas Ferroviarios y Tracción Eléctrica. Universitat politècnica De Catalunya. 2010. 2010, Vol. 1.

Slideshare. slideshare. *slideshare*. [En línea] [Citado el: 21 de 4 de 2013.] <http://www.slideshare.net/guestddd0d0/presentacion-laminado>.

Sozagaku. Sozagaku. [En línea] [Citado el: 16 de 4 de 2013.] http://www.sozogaku.com/fkd/en/mfen/MA1000603_02.jpg.

spences. materiales.wikispaces. [En línea] [Citado el: 17 de 05 de 2013.] materiales.wikispaces.com/file/view/Maquinabilidad.doc.

unal. virtual unal. [En línea] [Citado el: 17 de 05 de 2013.] http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/mecatronica/docs_curso/Anexos/T

UTORIALcnc/DOCUMENTOS/TEORIA/HTAS%20DE%20CORTE%20PARA%20MECANIZADO%20DE%20ALUMINIO.pdf.

—. virtual unal edu. [En línea] [Citado el: 17 de 05 de 2013.] http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/mecatronica/docs_curso/Anexos/UTORIALcnc/DOCUMENTOS/TEORIA/HTAS%20DE%20CORTE%20PARA%20MECANIZADO%20DE%20ALUMINIO.pdf.

upc. upcommons upc. [En línea] [Citado el: 17 de 05 de 2013.] <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/2833/6/41774-6.pdf>.

upcommons. upcommons upc. [En línea] [Citado el: 17 de 05 de 2013.] <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/2833/6/41774-6.pdf>.

virgeliz. slideshare. *slideshare*. [En línea] [Citado el: 18 de 04 de 2013.] <http://www.slideshare.net/virgeliz/trabajo-de-procesos-de-manufactura>.

Wikipedia, Fundacion. Wikipedia la enciclopedia libre. [En línea] Fundacion Wikimedia. [Citado el: 30 de 08 de 2011.] <http://es.wikipedia.org/wiki/5S>.

Xooimage. xooimage. *xooimage*. [En línea] [Citado el: 22 de 4 de 2013.] <http://img5.xooimage.com/files/c/e/b/maquinas---el-torno-1-956b98.pdf>.